LA VENTANA DE OPORTUNIDAD: ES HOY. MAÑANA ES TARDE.

Ernesto Gabriel Arias Fernandez
Investigador independiente.
redlunar.gabrielarias@gmail.com

Resumen

Este artículo identifica y analiza la coincidencia histórica de tres eventos que nunca antes habían ocurrido juntos: una nueva carrera espacial centrada en la Luna, la aparición de cohetes gigantes reutilizables y la madurez tecnológica acumulada durante décadas. En conjunto, estos tres factores abren una «ventana de oportunidad» para establecer una presencia humana permanente en la Luna. Sin embargo, las arquitecturas actuales (Artemis, ILRS) siguen ancladas en el paradigma de las misiones aisladas y los landers heroicos, heredado del Programa Apolo. Este trabajo sostiene que dicho enfoque es inadecuado para el objetivo de «quedarse». La alternativa propuesta es una red logística bidireccional entre la Tierra y la Luna, que mueva masa, personas y recursos de forma continua. A diferencia de lo que suele creerse, todas las tecnologías necesarias para construir dicha red ya existen y están maduras. El único requisito es cambiar el marco mental: de la misión épica a la infraestructura persistente.

Palabras clave: ventana de oportunidad, base lunar permanente, red logística bidireccional, cohetes reutilizables, madurez tecnológica, carrera espacial, infraestructura lunar.

Introduccion:

Estamos en un momento realmente excitante para todos los que de alguna manera no sentimos involucrados en el desarrollo de la navegación en el espacio. Un momento especial. Y es que se ha abierto una “ventana de oportunidad” histórica, que es un verdadero punto de inflexión. La ventana está abierta, pero si no la aprovechamos, también puede cerrarse.

En qué consiste?

En la coincidencia temporal de tres eventos:

- La nueva “carrera espacial”, centrada en la Luna.
- La puesta en marcha de cohetes gigantes, como el Falcon Heavy, el futuro NG 9x4 y la Starship.
- El grado de madurez alcanzado por las tecnologías espaciales, en especial, las que se vienen utilizando en las últimas décadas.

Analicemos brevemente estos eventos.

1. La nueva “carrera espacial”, centrada en la Luna.

La NASA ha rediseñado su cronograma para establecer una presencia en la superficie lunar antes del final de la década, priorizando la construcción de una base física sobre la estación orbital Gateway.

Los **Acuerdos Artemis** (o Acuerdos de Artemisa) son un marco internacional de principios, no vinculantes jurídicamente, diseñados para guiar la exploración civil y el uso pacífico de la Luna, Marte y otros cuerpos celestes.
Por la otra parte, China y Rusia firmaron un acuerdo estatal para cooperar en la construcción de la ILRS, cubriendo planificación, diseño, desarrollo, implementación y operación.
La ILRS es una **base lunar conjunta China–Rusia**, concebida como un complejo científico en la superficie y/o en órbita lunar, con capacidad de **operación autónoma a largo plazo**. Este proyecto, liderado por la Administración Nacional del Espacio de China (CNSA) y Roscosmos, tiene como objetivo construir una base automatizada y eventualmente tripulada cerca del **polo sur lunar**.
No voy a extenderme en este punto. Creo que con lo expuesto se entiende perfectamente el concepto de “carrera espacial”. Solo puntulalizar algunas diferencias con la que conocimos en los anios ’60.

Características	**Carrera Espacial (1955-1975)**	**Nueva Carrera Espacial (Actual)**
Principales contendientes	EE. UU. vs. Unión Soviética (URSS)	EE. UU. vs. China (con Rusia, India y otros actores)
Objetivo Principal	**Llegar primero**: Demostrar superioridad ideológica y militar mediante hitos aislados (Sputnik, Apolo 11).	**Quedarse**: Establecer presencia permanente, explotar recursos lunares (hielo de agua) y crear una economía lunar.
Financiación	Exclusivamente estatal (NASA / Programa Soviético) con presupuestos masivos de defensa.	**Modelo Híbrido**: Alianzas público-privadas. Empresas como SpaceX y Blue Origin son piezas clave.
Tecnología	Desarrollo de misiles balísticos y hardware desechable.	Cohetes reutilizables, estaciones espaciales comerciales e IA aplicada a la navegación.
Objetivos	Propaganda e impacto simbólico a nivel mundial.	Geopolítica del Polo Sur lunar por sus recursos estratégicos y control del espacio cislunar.

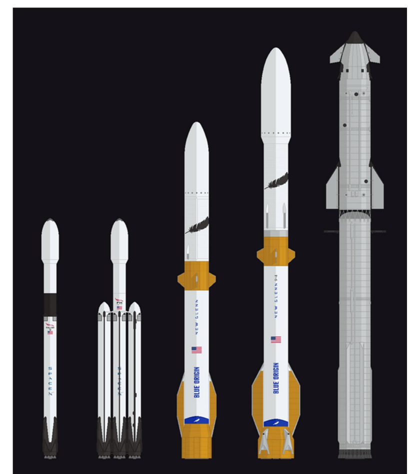
No es nuestro objetivo inmiscuirnos en cuestiones políticas o geoestratégicas que escapan al alcance de este artículo. Nos centraremos en destacar que es un elemento clave de la ventana de oportunidad porque cambia las prioridades de las Agencias Espaciales y tiene un efecto positivo en el sentido no anunciado, pero previsible, de desbloquear fondos estatales hacia los programas relacionados.

2. La puesta en marcha de cohetes gigantes, como el Falcon Heavy, el futuro NG 9x4 y la Starship.

La llegada de **SpaceX** y otras compañías del sector "NewSpace", como Blue Origin (con su cohete **New Glenn** o **NG**), ha transformado el panorama aeroespacial al pasar de un modelo de monopolio estatal a una economía de mercado competitiva y de alta velocidad.

La clave ha sido la reutilización de cohetes. Antes de SpaceX, los cohetes eran desechables, lo que hacía que cada misión fuera extremadamente costosa.

- **Reducción de precios**: SpaceX ha logrado reducir el costo de poner carga en órbita de unos 15.000 u$s/kg a menos de1.000 u$s/kg con el Falcon 9.
- **Nuevo Estándar (NG)**: Blue Origin ha seguido esta senda con el **New Glenn**, cuyo primer propulsor voló con éxito en abril de 2026 y está diseñado para ser reutilizado al menos 25 veces.



La evolución tecnológica liderada por SpaceX y Blue Origin ha redefinido el concepto de "carga pesada". A mayo de 2026, la industria ha pasado de celebrar las 63 toneladas del **Falcon Heavy** a proyectar capacidades que superan las 100 y 200 toneladas con **Starship**.

Sin estos avances, si nos quedábamos con cohetes cuya capacidad de Payload a LEO no superasen las 25 T, este articulo y cualquier otro que se enfocase en el establecimiento de bases lunares y la presencia del hombre en la Luna, sencillamente no tendría ningún sentido práctico. Simplemente, seria imposible pensar en eso. Exactamente lo mismo puede decirse de la reducción de los precios de acceso e la órbita terrestre baja. Los costes serian absolutamente inasumibles. Por ese motivo es una parte fundamental de la ventana de oportunidad.

3. El grado de madurez alcanzado por las tecnologías espaciales, en especial, las que se vienen utilizando en las últimas décadas.

No estoy hablando de desarrollos futuros. Ni siquiera de tecnologías que están “a las puertas” de ser puestas en práctica. No hablo de la invención de nuevos tipos de motores, de reactores de fisión nuclear, no hablo de cómo evitar el boiloff, ni como realizar un escudo inflable para el aerofrenado en Marte. Estoy hablando de tecnologías en uso hace décadas, que precisamente por eso, han alcanzado un grado de madurez y fiabilidad encomiables. En particular, voy a nombrar algunas:

GNC (Guía, Navegación y Control)

El concepto de calcular trayectorias y corregir el rumbo mediante giroscopios y acelerómetros.

- **Antes:** Las computadoras de las misiones Apolo tenían menos potencia que una calculadora de bolsillo actual. Los cálculos eran lentos y las correcciones de trayectoria, manuales o muy espaciadas.
- **Mejora Informática:** Los algoritmos modernos de **optimización convexa** permiten que un cohete calcule su trayectoria de aterrizaje miles de veces por segundo. Esto es lo que permite que un Falcon 9 aterrice verticalmente en una barcaza en movimiento, algo que era físicamente imposible con la informática de los años 90.

Paneles Solares Fotovoltaicos

Se usan desde el satélite Vanguard 1 (1958).

- **Antes:** Su eficiencia era baja (aprox. 8-10%) y su despliegue era un punto crítico de fallo mecánico.
- **Mejora Informática:** El diseño asistido por computadora (**CAD/CAE**) y las simulaciones de materiales han permitido crear celdas de triple unión con eficiencias superiores al 30%. Además, algoritmos de seguimiento solar ultraprecisos maximizan la captura de energía incluso en condiciones de baja iluminación (como en misiones a Júpiter).

Acoplamiento Automático (Rendezvous y Docking)

Esta tecnología nació con las naves soviéticas *Progress* y el sistema *Kurs* en los años 80.

- **La madurez**: Antes se basaba en radares analógicos que a veces fallaban por interferencias o proximidad.
- **La mejora informática**: El sistema actual (como el **NASA Docking System** o el de SpaceX) utiliza **LiDAR** y visión artificial. Las computadoras comparan en milisegundos la imagen real con un modelo 3D, permitiendo acoplamientos "suaves" y autónomos con una precisión de milímetros, sin intervención humana.

Motores Hipergólicos: Fiabilidad y Reutilización

Los motores hipergólicos (que se encienden al contacto, como los del Módulo Lunar del Apolo) siempre fueron valorados por su simplicidad.

- **La mejora informática**:
    - **Diseño Generativo**: Se han rediseñado las cámaras de combustión mediante algoritmos que optimizan la refrigeración, permitiendo que motores hipergólicos modernos aguanten cientos de encendidos sin degradarse.
    - **Sensores de Diagnóstico**: Ahora incluyen sistemas de monitoreo de salud (PHM) que detectan micro roturas antes de que el motor falle, permitiendo su reutilización real en naves de servicio orbital.

Construcción de Estructuras Masivas

Tradicionalmente, las estructuras grandes se lanzaban plegadas o se ensamblaban con caminatas espaciales (como la ISS).

- **La madurez**: Técnicas de soldadura por fricción-agitación y aleaciones de aluminio-litio.
- **La mejora informática**:
  - **Gemelos Digitales (Digital Twins)**: Antes de lanzar una estructura, se simula cada estrés térmico y mecánico en un modelo digital idéntico.
  - **Fabricación Aditiva (3D Printing)**: A mayo de 2026, empresas como **Relativity Space** y **Blue Origin** imprimen secciones completas de cohetes. Esto elimina miles de remaches y soldaduras, creando estructuras mucho más ligeras, resistentes y fáciles de producir en masa (como el cuerpo del New Glenn).

El transvase de propelentes hipergólicos

- **La base (Años 70-80):** Las naves rusas **Progress** perfeccionaron el transvase de hidracina y tetróxido de nitrógeno hacia la estación Salyut. Se utilizaban sistemas de tuberías externas y acoplamientos mecánicos que requerían una presurización manual muy compleja.
- **La mejora informática actual:** Hoy, el proceso está gestionado por **FCV (Flow Control Valves)** inteligentes. Sensores ultrasónicos de flujo y presión monitorean el transvase en milisegundos para detectar la formación de burbujas o caídas de presión que podrían causar una explosión por "golpe de ariete" en las tuberías.

Automatización del Acoplamiento de Fluidos

El punto crítico es el **mecanismo de desconexión rápida (Quick Disconnect o QD)**.

- **Sistemas "Zero-Leak":** Gracias al diseño asistido por computadora (CAD) y materiales avanzados, los conectores actuales aseguran que no se escape ni una sola gota de propelente al espacio durante la desconexión. Esto es vital, ya que los restos de hidracina podrían corroer los sensores de la nave o dañar los trajes de los astronautas.
- **Robótica:** En misiones como la **OSAM-1** (On-orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing), se utilizan brazos robóticos guiados por visión artificial para insertar las boquillas de transvase en satélites que no fueron diseñados originalmente para ser repostados.

Gestión de la Microgravedad (Ullage Control)

En el espacio, el líquido flota dentro del tanque, lo que dificulta su extracción.

- **Técnicas Clásicas:** Se usaban vejigas o diafragmas elásticos de caucho que "empujaban" el combustible.
- **Innovación Informática:** Mediante simulaciones de dinámica de fluidos (CFD), se han desarrollado **PMDs (Propellant Management Devices)**. Son estructuras internas fijas que utilizan la tensión superficial del líquido para guiarlo hacia la salida. El software de a bordo calcula exactamente cuánto "empuje" o aceleración debe dar la nave (quemado de ullage) para que el líquido se asiente en el fondo del tanque antes de iniciar el transvase.

El uso de reactores nucleares en miniatura

Es cierto que este punto no cuenta con años de experiencia operativa, pero no por ningún problema físico ni tecnológico. Estaban en desarrollo en los años '60 y su falta de implementación de origino en motivos en los que no voy a entrar porque todos los conocemos.

a) El Proyecto Ruso-Chino: Reactor "Selena"

Rusia y China han firmado un acuerdo formal para instalar una central nuclear automática en la superficie lunar entre **2033 y 2035**. [1, 2]

- **Nombre del prototipo:** Se denomina **"Selena"** y está siendo desarrollado por el Instituto Kurchatov de Rusia.
- **Capacidad:** Se planea inicialmente una unidad de **5 kW** basada en tecnología de conversión directa de energía.
- **Vehículos:** Este reactor alimentará la **Estación Internacional de Investigación Lunar (ILRS)** y proporcionará energía a "jumping robots" (robots saltadores) y mini-rovers inteligentes que operarán de forma autónoma.

b) Micro-reactores de EE. UU.: Fission Surface Power (FSP)

La NASA, bajo una renovada asociación con el Departamento de Energía firmada en enero de 2026, busca liderar este campo con reactores de la clase de **10 kilovatios**. [1, 2]

- **Meta 2030:** El objetivo es desplegar el primer reactor de superficie para **2030**.
- **Empresas clave:** Lockheed Martin, Westinghouse e IX (Intuitive Machines y X-Energy) ya están desarrollando diseños robustos que pesen menos de 3,500 kg para facilitar su transporte en módulos de aterrizaje comerciales.
- **Tecnología Kilopower:** Basada en el exitoso experimento **KRUSTY**, utiliza una barra de uranio enriquecido y motores Stirling para convertir el calor en electricidad

c) El Micro-Reactor de Rolls-Royce (Reino Unido)

El Reino Unido también ha entrado en la carrera con un modelo de **micro-reactor modular** diseñado para ser tan pequeño como un coche. [1]

- **Uso previsto:** Proporcionar energía a bases habitadas y sistemas de soporte vital durante al menos **10 años** sin intervención humana.

Estas tecnologías son las que abren la ventana de oportunidad. No la resolución del problema del boiloff, no la creación de landers criogénicos, no la puesta en marcha de motores nucleares. No necesitamos nuevos motores. No necesitamos motores de curvatura ni velocidades “warp”. Ya tenemos los motores que necesitamos.

4. A donde nos invita esta ventana de oportunidad?

A establecernos como una civilización multi planetaria, comenzando por la construcción de verdaderas Bases Lunares Permanentes. No estoy hablando de una avanzadilla aislada, que recibe visitas de astronautas profesionales una vez cada tanto. No estoy hablando ni siquiera de algo semejante a una Base en la Antártida, que por otro lado, es algo todavía muy lejano en los calendarios espaciales vigentes.

Estoy hablando de producción in situ, de fábricas en la Luna, hoteles, hidroponía, cientos de personas, (técnicos, operarios, médicos, científicos, cocineros, granjeros, turistas) no solo astronautas. Es cierto que esta visión requiere tiempo, inversión, esfuerzo y que no nace de la noche a la mañana. Lo que estoy tratando de decir, es que podría ser una realidad en plazos increíblemente cercanos y con una inversión perfectamente asumible por estados y particulares.

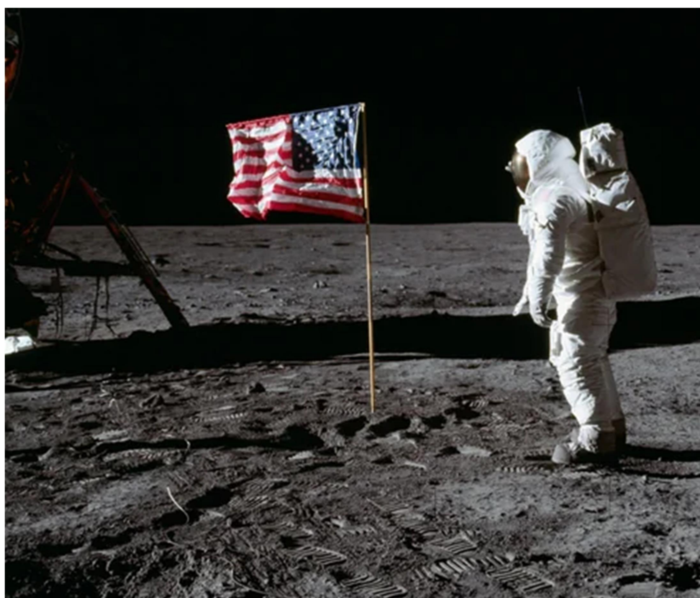
Estoy hablando de abrir el espacio a los negocios de los particulares, a la economía de libre mercado. Y quien logre establecerse primero será quien establezca los estándares y las normas, quien tenga acceso al todo el espacio cislunar y la puerta abierta para llegar a marte y beyond.

Entiendo perfectamente a todos aquellos que llegados a este punto en la lectura del articulo sientan una sensación de incredulidad, desconfianza y se sientan tentados a considerarlo una fantasía. Eso indica que son personas maduras y razonables, es una reacción totalmente normal. Los párrafos precedentes parecen una hermosa expresión de deseos sin sustento real alguno. No es así. Tenemos todo lo que necesitamos para hacerlo realidad, con solo dos condiciones: que decidamos aprovechar la oportunidad y que enfoquemos el problema en la forma adecuada. No lo estamos haciendo.

5. Por qué digo que no lo estamos enfocando de la forma adecuada?

Porque seguimos arrastrando las secuelas del Programa Apollo. Programa exitoso si los hubo, quien lo duda, lo que refuerza todavía más su influencia a la hora de enfocar el actual problema, que es de una naturaleza completamente distinta. Fuimos a plantar una bandera y volvernos a casa pronto, antes que alguien se matara en el camino. Y vaya que lo hicimos y que tuvimos suerte de no lamentar infortunios!.

Y está bien. Está muy bien. Se realizó una verdadera hazaña a todos los niveles imaginables, muy por encima de lo que la tecnología de la época disponía. Mi más



profunda admiración a los científicos, ingenieros y trabajadores que lo hicieron posible. Y párrafo aparte para los héroes que tripularon esas misiones, nada que pudiera decir aquí les haría justicia. Y estuvimos muy bien en dejar de ir a la Luna de una forma tan precaria y peligrosa. Hoy el desafío es otro y nuestra tecnología, 60 años después, también.

Hoy no vamos a plantar una bandera y volver. Hoy vamos a quedarnos.

Es otra cosa. Es otro problema distinto y hay que pensarlo de otra manera.

Por qué seguimos enfocados en misiones aisladas y secuenciales?

Por qué insistimos en una arquitectura parecida?

Por qué insistimos en verlo todo de la misma manera? Un gran cohete que lleve un modernísimo y avanzado Lander criogénico que se encargue por si solo de subir y bajar las empinadas montañas de delta V que implica dejar una carga en la luna, solo para después morir de éxito, inútil, abandonado en un desolado páramo de la superficie lunar.

Es esa una forma eficiente de encarar el problema?. Es esa la solución que buscamos para establecernos permanentemente en la luna?. Yo pienso que no. Y no estoy cuestionando ni la capacidad, ni el teson, ni la inteligencia de los maravillosos científicos, ingenieros y directivos que están desarrollando esa visión. No. Solo digo que están enfocando el problema mirando hacia el lado equivocado. Si realmente queremos quedarnos en la luna no necesitamos una sucesión temporal de misiones exitosas.

Lo que necesitamos es UNA RED LOGISTICA BIDIRECCIONAL.

No un lander heroico. No una misión épica. No un salto aislado.

Una **red**.

Una red que mueva masa, personas, combustible, repuestos, agua, oxígeno, carga útil, herramientas, comida, experimentos, productos manufacturados.

Una red que funcione **todos los días**, no cada dos años. Una red que permita **ir y volver**, no solo “ir”. Una red que convierta la Luna en un lugar accesible, no en un destino exótico.

6. Una red logística bidireccional.

Ese es el corazón del problema. Ese es el punto ciego de toda la arquitectura actual. Ese es el paso que nadie está viendo. Y hoy mismo tenemos todo lo necesario para construirla.

La historia es clara: las civilizaciones no nacen de misiones heroicas, sino de redes logísticas

Los vikingos llegaron a América siglos antes que Colón. Pero no se quedaron. ¿Por qué? Porque no tenían **una red logística** que conectara Groenlandia, Islandia y Vinland de forma estable.

Colón, en cambio, no hizo un viaje heroico aislado. Hizo el primero de **cuatro**, dentro de una red marítima que Europa ya estaba construyendo. Y detrás de él vinieron cientos de barcos, rutas, puertos, almacenes, astilleros. No fue un acto épico: fue **logística**.

Y si vamos más atrás, el ejemplo definitivo:

El Imperio Romano no se sostuvo por sus legiones, sino por sus caminos

La Via Appia no era un símbolo. Era una **infraestructura logística** que permitía mover:

- tropas
- suministros
- información
- comercio
- personas

Todos los días. Durante siglos.

Roma no dominó el Mediterráneo porque tenía mejores soldados. Lo dominó porque tenía **la mejor red logística de la historia antigua**.

La lección es siempre la misma:

Las civilizaciones no nacen de misiones heroicas. Nacen de redes logísticas.

Hoy estamos en la fase “vikinga” de la Luna: llegamos, hacemos algo extraordinario, y nos vamos. Si queremos pasar a la fase “romana”, necesitamos caminos. Necesitamos una red.

Una red logística bidireccional entre la Tierra y la Luna.

Y lo más importante: **hoy tenemos todo lo necesario para construirla.**

REFERENCIAS

[1] NASA — *Artemis Program Overview*, *Artemis Accords*, *Artemis Base Camp Concept* (2020–2025).
[2] SpaceX — *Falcon 9 User's Guide* (2024); FAA — *Commercial Space Transportation* (2023–2026).
[3] NASA — *Autonomous Precision Landing Technologies* (2023); ESA — *Solar Cell Performance* (2024).
[4] CNSA & Roscosmos — *ILRS Memorandum of Understanding* (2021).
[5] Blue Origin — *New Glenn Payload User's Guide* (2024).
[6] ESA — *Triple-Junction Solar Cells* (2024).
[7] NASA — *NASA Docking System Technical Manual* (2020); Roscosmos — *Kurs-NA* (2018).
[8] Aerojet Rocketdyne — *AJ10 Engine Family Overview* (2023).
[9] Relativity Space — *Terran R Additive Manufacturing Whitepaper* (2024).
[10] NASA — *OSAM-1 Mission Overview* (2024).
[11] NASA — *Propellant Management Devices for Microgravity* (2022).
[12] Roscosmos — *Selena Lunar Reactor Concept* (2024).
[13] NASA/DOE — *Fission Surface Power Project* (2023–2026).
[14] Rolls-Royce — *Micro-Reactor for Lunar Applications* (2024).
[15] Fitzhugh — *Vikings: The North Atlantic Saga* (Smithsonian, 2000).
[16] Fernández-Armesto — *Columbus* (Oxford, 1991).
[17] Laurence — *The Roads of Roman Italy* (Routledge, 1999).